

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 02 SEP 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:**

102 32 124.8

**Anmeldetag:**

12. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:**

JENOPTIK Laser, Optik, Systeme GmbH, Jena/DE

**Bezeichnung:**

Impulslaseranordnung und Verfahren zur  
Impulslängeneinstellung bei Laserimpulsen

**IPC:**

H 01 S 3/23

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 29. Juli 2003  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident

Im Auftrag

Sieck



# Impulslaseranordnung und Verfahren zur Impulslängeneinstellung bei Laserimpulsen

Die Erfindung betrifft die Einstellung der Impulslänge bei  
5 diodengepumpten, gütegeschalteten Festkörperlaser-  
Oszillatoren mit variierbarer Oszillatorleistung,  
insbesondere Grundmodelasern hoher Ausgangsleistung von  
mehr als 10 W.

10 Für viele industrielle oder medizinische Anwendungen ist  
es vorteilhaft, die Pulslängen sowie die Pulsenergie  
eines Lasers zu variieren, um dadurch dessen Wirkung  
gezielt steuern zu können. Pulslängen im Bereich einiger  
15 100 ns bis hin zu einigen  $\mu$ s bei Pulswiederholraten  
zwischen 10 kHz und 200 kHz sind dabei von besonderem  
Interesse. Bevorzugtes Anwendungsgebiet in der Medizin ist  
derzeit die Augenheilkunde und in der Industrie das  
Laservereinzeln von Chips auf Silizium- oder GaAs-Wafern.  
Aber auch in der Materialbearbeitung, wie zum Beispiel bei  
20 der Keramik- oder Diamantbearbeitung, beim Laserhonen und  
Laserbohren besteht ein dringender Bedarf, wobei hier  
allerdings besonders kurze Impulse unterhalb 10 ns  
gefordert sind.

25 In großer Anzahl vorhandene Ausführungsformen von  
kontinuierlich gepumpten, akustooptisch gütegeschalteten  
Festkörperlaser-Oszillatoren, die vor allem lampengepumpte  
oder transversal diodengepumpte Nd:YAG-Stablaser umfassen,  
erreichen typische Pulslängen von 50 ns bis 200 ns, wobei  
30 die großen Pulslängen bei geringer Pumpleistung und nur  
bei einer hohen Pulswiederholrate, die kurzen Pulslängen  
dagegen nur bei einer geringen Pulswiederholrate  
erreichbar sind. Längere Pulsdauern als 200 ns lassen sich

mit diesen Ausführungen aufgrund der schwierigen Erreichbarkeit des transversalen Grundmodebetriebs und einer niedrigen Pulsstabilität nicht mehr technisch vernünftig herstellen. Darüber hinaus lassen sich solche Laser auch nur in einem sehr eingeschränkten Parameterfenster betreiben.

Zwar werden mit endgepumpten Nd:YVO<sub>4</sub>-Laseroszillatoren besonders hohe Durchschnittsleistungen bei Repetitionsraten von 100 kHz erreicht, doch ist auch hier bei gegebener Resonatorkonfiguration (L, V, R, P<sub>th</sub>) eine Variation der Pulslänge nur durch eine Änderung der Pumpleistung P<sub>p</sub> möglich und führt aufgrund der Korrelation zwischen Pulslänge und Pulsenergie zu einer drastischen Reduktion der Ausgangsleistung bei einer Vergrößerung der Pulslänge. Der Zusammenhang ist bei [R. Iffländer: Solid-State Lasers for Materials Processing, Springer Series in Optical Sciences, Springer Verlag, Berlin (2001)] beschrieben, wonach die Pulslänge aus den Parametern Pumpleistung P<sub>p</sub>, der Pumpleistung bei der Laserschwelle P<sub>th</sub>, Auskoppelgrad R, Verlustfaktor V und Resonatorlänge L nach der Formel

$$\tau = \frac{L}{c} \cdot \frac{P_p}{-\ln(V\sqrt{R})[P_p - P_{th} - P_{th} \ln(P_p / P_{th})]}$$

berechnet werden kann.

Darüber hinaus führt die Änderung der resonatorinternen Leistung durch die Variation der Pumpstrahlungsleistung im Allgemeinen zu einer Änderung der thermischen Linse des Laserkristalls, so dass sich auch die Strahlparameter des ausgekoppelten Strahls ändern. Dieser Effekt ist für viele Anwendungen störend, insbesondere führt eine anisotrop

wirkende thermische Linse zu einer Asymmetrie des Strahlprofils.

5 Auch eine Änderung der Repetitionsrate des Lasers ist unmittelbar mit einer Veränderung der Pulsdauer und der Ausgangsleistung verbunden. Dabei nimmt sowohl die Pulsdauer als auch die mittlere Leistung mit geringerer Repetitionsrate ab.

10 Ferner ist es aus der DE 199 58 566 A1 und der DE 199 27 918 A1 bekannt, bei diodengepumpten Lasern mit resonatorinterner Frequenzverdopplung für medizinische Anwendungen, eine Pulslängenvariation durch eine Steuerung der Gütemodulation zu erreichen.

15 Von Nachteil ist, dass zusätzliche Oszillatorverluste infolge der Störung des Impulsaufbaus zu einer schlechten Effektivität führen und dass in der starken nichtlinearen Dynamik durch den exponentiellen Impulsanstieg eine steuerungstechnisch aufwendige Lösung begründet ist..

20 Aufgabe der Erfindung ist es, die Pulslänge über einen weiten Bereich weitgehend unabhängig von der Laserausgangsleistung zu ändern, insbesondere einer Leistungsreduzierung entgegenzuwirken und eine sich negativ auswirkende Veränderung der Strahlparameter bei der Pulsverlängerung über eine Variation der Oszillatorleistung zu vermeiden.

25  
30 Gemäß der Erfindung wird die Aufgabe durch eine Impulslaseranordnung zur Erzeugung von Laserimpulsen mit einstellbarer Impulslänge, bei der ein diodengepumpter, gütegeschalteter Festkörperlaser-Oszillator mit variierbarer Oszillatorleistung zur Bereitstellung von Oszillatorimpulsen vorgesehen ist, dadurch gelöst, dass

dem gütegeschalteten Festkörperlaser-Oszillator ein Laserverstärker nachgeschaltet ist, dessen Kleinsignalverstärkung ein solches Maß aufweist, dass eine Einstellung der Pulslänge über eine Leistungsvariation des  
5 Festkörperlaser-Oszillators mit einer Entkopplung von der erzielbaren Laserleistung verbunden ist.

Durch die hohe Kleinsignalverstärkung, die mehr als 1000 betragen sollte, findet eine Impulsformung und  
10 Impulsverbreiterung infolge der sich ändernden Inversionsdichte statt, bei der keine lineare Intensitätsüberhöhung über den gesamten Oszillatorimpuls eintritt, sondern die Vorderflanke des Oszillatorimpulses wird durch die hier noch größere Inversion sehr viel mehr  
15 verstärkt als die Rückflanke, bei der die Inversion bereits herabgesetzt ist. In der Folge ist die Impulsverstärkung mit einer zeitlichen Vorversetzung der Anstiegsflanke des Laserimpulses gegenüber der des Oszillatorimpulses verbunden.

20 Mit der Erfindung kann die Pulslänge aufgrund der Variation der Oszillatorleistung durch eine Änderung der Pumpstrahlungsleistung über den Diodenstrom in einem extrem weiten Bereich (200 ns - 2000 ns) eingestellt  
25 werden, während die Laserausgangsleistung weitgehend konstant bleibt. In diesem Sinne führt der hohe Grad der Kleinsignalverstärkung zu der Entkopplung der Variation der Oszillatorleistung von der Laserausgangsleistung.

30 Von Vorteil ist es, wenn die zum Kehrwert der Kleinsignalverstärkung proportionale Querschnittsfläche des verstärkenden Mediums minimiert wird. Insbesondere sollte der Modenquerschnitt in dieser Querschnittsfläche unterhalb von  $0,5 \text{ mm}^2$  liegen.

In vorteilhafter Ausgestaltung kann der Festkörperlaser-Oszillator als aktives Medium einen anisotropen Laserkristall enthalten, der von einem asymmetrischen Pumpstrahl gepumpt ist, dessen Pumpstrahlquerschnitt senkrecht zueinander unterschiedliche Ausdehnungen aufweist und der von einem an diese Asymmetrie angepassten Laserstrahlquerschnitt mit einem Achsverhältnis in senkrecht zueinander verlaufenden Richtungen größer 1:1 und kleiner 1:3 durchsetzt ist.

Das kann dadurch erreicht werden, dass von den kristallographischen Achsen des anisotropen Laserkristalls diejenige Achse, in deren Richtung der höchste Wert der Kristallbruchgrenze vorliegt, entlang des größten, in Richtung der geringeren Ausdehnung des Pumpstrahlquerschnitts gelegten Temperaturgradienten ausgerichtet ist. Der anisotrope Laserkristall, der einen von dem Pumpstrahl durchsetzten Kristallquerschnitt mit paarweise parallel gegenüberliegenden Kristallkanten von unterschiedlicher Kantenlänge enthält, weist seinen größten Wärmeausbreitungskoeffizienten in Richtung der geringeren Ausdehnung des Pumpstrahlquerschnittes und parallel zur Kristallkante mit der geringeren Kantenlänge auf.

Die obenstehende Aufgabe wird ferner erfindungsgemäß durch ein Verfahren zur Impulslängeneinstellung bei Laserimpulsen mit einem diodengepumpten, gütegeschalteten Festkörperlaser-Oszillator zur Bereitstellung von Oszillatorimpulsen gelöst, indem die Oszillatorimpulse mit einer solchen Kleinsignalverstärkung verstärkt werden, dass bei einer durch Leistungsvariation des Festkörperlaser-Oszillators hervorgerufenen Veränderung

der Impulslänge eine Entkopplung von der erzielbaren Laserleistung erfolgt.

Die Erfindung liefert somit ein universelles Werkzeug zur Gestaltung der Pulslänge für eine Vielzahl von Anwendungsbeispielen aus Industrie und Medizin, indem besonders kurze aber auch besonders lange Impulse mit einer einheitlichen Pulsform sowie hohen Pulsspitzenleistungen und einer konstant hohen Pulswiederholrate zur Verfügung gestellt werden. Hervorzuheben ist insbesondere die Pulsstabilität bei langen Impulsen.

Die Erfindung soll nachstehend anhand der schematischen Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen:

Fig. 1 den Aufbau eines gütegeschalteten Festkörperlaser-Oszillators

Fig. 2 die Achsenorientierung im anisotropen Laserkristall

Fig. 3 einen Laserverstärker, der dem gütegeschalteten Festkörperlaser-Oszillator nachgeschaltet ist

Fig. 4.. unterschiedliche Pulsformen am Ausgang des Festkörperlaser-Oszillators und am Ausgang des Laserverstärkers in einem Diagramm

Fig. 5 ein Diagramm zum Verhalten der Pulslänge am Ausgang des Festkörperlaser-Oszillators und am Ausgang des Laserverstärkers in Abhängigkeit vom Diodenstrom der Pumpstrahlquelle für den

Festkörperlaser-Oszillator und damit von der Oszillatorleistung

Fig. 6 ein Diagramm zum Verhalten der Laserausgangsleistung in Abhängigkeit vom Diodenstrom der Pumpstrahlquelle für den Festkörperlaser-Oszillator und damit von der Oszillatorleistung

Ein in Fig. 1 dargestellter und für die Erfindung besonders geeigneter gütegeschalteter Festkörperlaser-Oszillator enthält als Laserkristall einen Nd:YVO<sub>4</sub>-Kristall 1, der direkt mittels eines Hochleistungsdiodelasers 2 in Form einer Diodenlaserzeile, eines Diodenlaserbarrens oder einer Anordnung davon gepumpt ist. Eine dafür ausgebildete, aus zwei Zylinderlinsen 3, 4 mit senkrecht zueinander stehenden Zylinderachsen bestehende Abbildungsoptik transformiert die kollimierte Pumplichtstrahlung (808 nm) zur räumlichen Überlappung mit der Lasermode. Dabei wird das ursprüngliche Fokus-Halbachsen-Verhältnis zwischen der Fast-axis und der Slow-axis von etwa 1:20 in ein asymmetrisches Achsverhältnis von 1:2,3 umgewandelt und mit diesem asymmetrischen Strahlquerschnitt auf den Nd:YVO<sub>4</sub>-Kristall 1 abgebildet. Im Gegensatz zu einer Strahlungsübertragung mittels Lichtleitfasern führt die vorgesehene direkte Freistrahübertragung der Pumpstrahlung zu einem technologisch einfachen, mit geringeren Verlusten behafteten und belastungsfähigeren Aufbau.

Der anisotrope Nd:YVO<sub>4</sub>-Kristall 1, der an seiner, der Diodenlaserzeile 2 zugewandten Strahleintrittsfläche 5 mit einer Antireflexbeschichtung für die Pumpwellenlänge von



808 nm und einem hochreflektierenden Schichtsystem für die Laserwellenlänge von 1064 nm versehen ist, ist gemäß Fig. 2 derart zum Pumpstrahl 6 orientiert, dass seine kristallographische c-Achse in Richtung der größeren Ausdehnung (parallel zur Slow-axis) und die kristallographische a-Achse, in deren Richtung der höchste Wert der Kristallbruchgrenze und des Wärmeausbreitungskoeffizienten vorliegt, in Richtung der geringeren Ausdehnung des Pumpstrahlquerschnittes (parallel zur Fast-axis) gerichtet sind.

Es hat sich gezeigt, dass eine erhebliche Erhöhung der Kristallfestigkeit gegenüber einer thermischen Beanspruchung durch eine Erniedrigung der Kristallhöhe in Richtung der a-Achse und einer damit verbundenen Vergrößerung des Temperaturgradienten erreicht werden kann. Das bedeutet, dass der Laserkristall 1 bei wesentlich höheren Pumpleistungen und Pumpleistungsdichten betrieben werden kann als bei bisher bekannten Anordnungen.

Dieser Forderung wird die Ausführung gemäß Fig. 2 gerecht, indem der Laserkristall einen von dem Pumpstrahl 6 durchsetzten Kristallquerschnitt mit paarweise parallel gegenüberliegenden Kristallkanten 7, 8, 9 und 10 von unterschiedlicher Kantenlänge aufweist, wobei die Kristallkanten 7 und 8 gegenüber den Kristallkanten 9 und 10 eine geringere Kantenlänge aufweisen und in Richtung der geringeren Ausdehnung des Pumpstrahlquerschnittes verlaufen.

Die durch die Reduzierung der Kristallabmessungen in Richtung der geringeren Ausdehnung des Pumpstrahlquerschnittes hervorgerufene Asymmetrie des

Wärmefflusses und die daraus resultierende Asymmetrie der thermischen Linse bewirkt, dass im Inneren des Kristalls, ein elliptischer Laserstrahlquerschnitt erzeugt wird, dessen Achsverhältnis von größer 1:1 und kleiner 1:3 an das des Pumpstrahlquerschnittes angepasst ist, ohne dass weitere astigmatische Elemente im Resonator benötigt werden, d.h., ohne dass für die unterschiedlichen Achsen unterschiedliche Strahlformungsmittel eingesetzt werden müssen.

Gegenüberliegend zur Strahleintrittsfläche 5 ist der Laserkristall mit einer, unter einem Brewsterwinkel geschnittenen Endfläche 11 versehen, wodurch das Achsverhältnis noch um den Faktor des Verhältnisses des Brechungsindex des Laserkristalls zum Brechungsindex der Luft vergrößert werden kann. Andererseits weist der innerhalb des Laserkristalls elliptisch ausgebildete Laserstrahlquerschnitt bei seinem Austritt aus dem Kristall einen annähernd runden Querschnitt auf.

Neben der verspiegelten Strahleintrittsfläche 5 enthält der Festkörperlaser-Oszillator einen, den Stabilitätskriterien eines Resonators angepassten Faltungsspiegel 12 sowie einen Auskoppelspiegel 13. In einer ersten Ausführungsform, bei der Impulse mit größerer Pulslänge von mehr als 500 ns erzeugt werden sollen, betragen die beiden, die Pulslänge beeinflussenden Parameter Resonatorlänge und Auskopplungsgrad 860 mm bzw. 10%. Allgemein sind Resonatorlängen über 500 mm für solche „längeren“ Impulse geeignet.

Verringert man den Krümmungsradius des Faltungsspiegels 12, kann die Resonatorlänge verkürzt und damit eine weitere Ausführung eines Festkörperlaser-Oszillators zur

Erzeugung kürzerer Impulse (unterhalb 500 ns) aufgebaut werden. Bei einer Resonatorlänge von z. B. 240 mm kann die Durchschnittsleistung des Festkörperlaser-Oszillators bei unveränderter Strahlqualität ( $M^2 < 1,1$ ) von 2,0 W bis 3,2 W variiert werden, was bei Repetitionsraten von 30 kHz zu Pulslängen im Bereich von 30 ns führt.

Natürlich kann der Festkörperlaser-Oszillator auch mit Resonatorlängen von weit unterhalb von 180 mm ausgelegt werden, um Pulslängen von weniger als 15 ns zu erreichen.

Zur Impulserzeugung ist zwischen dem Faltungs- und dem Auskoppelspiegel 12, 13 eine Güteschaltung in Form eines akustooptischen Schalters 14 angeordnet.

Die Resonatorkonfiguration ist so gewählt, dass die durch eine Leistungsvariation der Pumpstrahlung ( $\Delta P = 2 \text{ W}$ ) bedingte Änderung der thermischen Linse im Laserkristall zu keiner Veränderung der Strahlqualität ( $M^2 \leq 1,1$ ) führt und zudem der Durchmesser des ausgekoppelten Laserstrahls maximal um 15% geändert wird. Die Oszillatorleistung kann in einem Bereich zwischen 0,8 W - 1,4 W geändert werden, was bei einer Repetitionsrate von 30 kHz zu Impulsdauern von 1900 ns - 360 ns hinter dem Verstärker führt.

Die Repetitionsrate kann über die Ansteuerung des akustooptischen Schalters 14 in einem Bereich von 10 kHz - 200 kHz eingestellt werden.

Die Strahlparameter des aus dem Festkörperlaser-Oszillator austretenden Laserstrahls 15 werden durch eine Linsenkombination 16 (Modematching) an einen nachgeordneten Laserverstärker (Fig. 3) angepasst, insbesondere wird der Laserstrahlquerschnitt in einem

elliptischen Strahlquerschnitt von geringem Halbachsenverhältnis (1:2 bis 1:3) überführt. Durch die Invarianz der Strahlqualität und der geringen (15%) Änderung des Strahldurchmessers kann sichergestellt werden, dass diese Anpassung bei unterschiedlichen Pump- und Ausgangsleistungen gewährleistet ist. Dies ist Bedingung dafür, um die mit der Leistungsvariation des Festkörperlaser-Oszillators einhergehende Pulslängenvariation des verstärkten Strahls realisieren zu können.

Der in Fig. 3 dargestellte Laserverstärker (Ausgangsleistung 50 W), dessen einzelne Verstärkerstufen bereits in der DE 100 43 269 A1 ausführlich beschrieben wurden und auf die hier Bezug genommen wird, besteht aus sechs solcher Verstärkerstufen mit einer seriellen Anordnung von sechs Laserkristallen 17 - 22, die von ebenso vielen jeweils zugeordneten Hochleistungsdiodelnlasern (in Fig. 3 verdeckt) diodengepumpt sind. Die aus den Hochleistungsdiodelnlasern austretende Pumpstrahlung wird zunächst kollimiert und anschließend in die Laserkristalle 17 - 22 fokussiert. Aufgrund der hohen Strahlqualität der Pumpstrahlung in der Fast-Axis-Richtung entsteht ein stark elliptischer Pumpfokus mit Abmessungen von etwa 0,1 mm x 2,0 mm, woraus bei einer absorbierten Pumpleistung von 12 W eine sehr hohe Pumpleistungsdichte und damit eine hohe Kleinsignalverstärkung resultiert. Diese beträgt mehr als 10 pro Verstärkerstufe, so dass sich für die sechs vorgesehenen Verstärkerstufen eine Gesamtkleinsignalverstärkung von größer  $10^6$  ergibt.

Der aus dem Festkörperlaser-Oszillator austretende runde Laserstrahl 15 durchläuft zur Vermeidung von Rückwirkungen

aus dem Laserverstärker in den Festkörperlaser-Oszillator einen Faraday-Isolator 23 und durchstrahlt aufgeweitet durch die Linsenkombination 16 anschließend in einem Zick-Zack-Pfad nacheinander alle sechs Laserkristalle 17 - 22.

5 Zusätzlich wird der Laserstrahl 15 zur weiteren Anpassung an den stark elliptischen Pumpfokus mittels Zylinderlinsen 24, 25 in die Laserkristalle 17 - 22 fokussiert, so dass der in der Tangentialebene kollimierte Laserstrahl 15 die Laserkristalle 17 - 22 in der Sagittalebene mit einem  
10 stark elliptischen Fokus durchsetzt. Der vorliegende Laserverstärker ist zweigeteilt, wobei die beiden Teile über ein Periskop 26 optisch verbunden sind.

Nach seinem zweiten Durchtritt durch die Zylinderlinse 29  
15 ist der Laserstrahl auch in der Sagittalebene wieder kollimiert mit dem gleichen elliptischen Querschnitt wie vor dem ersten Durchtritt durch die Zylinderlinse 29.

Somit sind die Laserkristalle 17 - 22 von modenangepassten  
20 Strahlen der Pumpstrahlung und der zu verstärkenden Laserstrahlung 15 durchsetzt, wobei sich infolge der eingestrahlten Pumpstrahlung eine thermische Linse mit unterschiedlicher Stärke in zueinander senkrechten Ebenen ausbildet. Die Laserstrahlung 15 ist, in der Ebene mit  
25 starker thermischer Linse fokussiert, in jeden der Laserkristalle 17 - 22 gerichtet, wobei eine sich bildende Strahltaille im Bereich der thermischen Linse liegt.

Zur Gewährleistung des Zick-Zack-Pfades dienen Faltspiegel  
30 27 - 32, die auch dazu genutzt werden können, die Strahlabmessungen in der Slow-Axis-Richtung anzupassen. Weitere Umlenkelemente 33 - 37 dienen dem Aufbau einer kompakten Anordnung.

Der Laserstrahl 15 wird nach seinem Austritt aus dem Laserverstärker mittels einer nicht dargestellten Linsenanordnung bestehend aus vier Zylinderlinsen und einem Aufweitungsteleskop den gewünschten Strahlparametern für die vorgesehene Anwendung angepasst.

Fig. 4 verdeutlicht, wie im ns-Bereich die Anstiegsflanke des Laserimpulses am Ausgang des Laserverstärkers der des Oszillatorimpulses, bedingt durch die hohe Kleinsignalverstärkung, zeitlich vorseilt, da bereits bei sehr kleinen Oszillatorleistungen im  $\mu\text{W}$ -Bereich in einer sehr frühen Phase des Impulsaufbaus eine Sättigung der Verstärkerleistung eintritt. Der Impuls wird dadurch länger.

Fig. 5 zeigt diese zeitliche Verlängerung der Impulse infolge des Verstärkungsprozesses mit hoher Kleinsignalverstärkung, wobei über einen sehr weiten Bereich die Pumpstrahlungsleistung im Festkörperlaser-Oszillator verändert wird, währenddessen die Pumpstrahlungsleistung im Laserverstärker konstant bleibt.

Fig. 6 demonstriert das geringe Maß der Änderung der Ausgangsleistung (10%) am Verstärkerausgang bei einer Variation der Oszillatorleistung aufgrund der Dämpfung des Leistungsabfalls durch die Verstärkung.

Patentansprüche

1. Impulslaseranordnung zur Erzeugung von Laserimpulsen mit einstellbarer Impulslänge, bei der ein diodengepumpter, gütegeschalteter Festkörperlaser-Oszillator mit variierbarer Oszillatorleistung zur Bereitstellung von Oszillatorimpulsen vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, dass dem gütegeschalteten Festkörperlaser-Oszillator ein Laserverstärker nachgeschaltet ist, dessen Kleinsignalverstärkung ein solches Maß aufweist, dass eine Einstellung der Pulslänge über eine Leistungsvariation des Festkörperlaser-Oszillators mit einer Entkopplung von der erzielbaren Laserleistung verbunden ist.
2. Impulslaseranordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulsverstärkung mit einer zeitlichen Vorversetzung der Anstiegsflanke des Laserimpulses gegenüber der des Oszillatorimpulses verbunden ist.
3. Impulslaseranordnung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Leistungsvariation des Festkörperlaser-Oszillators durch eine Änderung der Pumpstrahlungsleistung über den Diodenstrom der Pumpstrahlungsquelle erfolgt.
4. Impulslaseranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserverstärker ein verstärkendes Medium enthält, in dem der Modenquerschnitt kleiner als  $0,5 \text{ mm}^2$  ist.
5. Impulslaseranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserverstärker eine Kleinsignalverstärkung aufweist, die mehr als 1000 beträgt.

6. Impulslaseranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Festkörperlaser-Oszillator als aktives Medium einen anisotropen Laserkristall enthält, der von einem asymmetrischen Pumpstrahl gepumpt ist, dessen Pumpstrahlquerschnitt senkrecht zueinander unterschiedliche Ausdehnungen aufweist und der von einem an diese Asymmetrie angepassten Laserstrahlquerschnitt mit einem Achsverhältnis in senkrecht zueinander verlaufenden Richtungen größer 1:1 und kleiner 1:3 durchsetzt ist.

7. Impulslaseranordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass von den kristallographischen Achsen des anisotropen Laserkristalls diejenige Achse, in deren Richtung der höchste Wert der Kristallbruchgrenze vorliegt, entlang des größten, in Richtung der geringeren Ausdehnung des Pumpstrahlquerschnittes gelegten Temperaturgradienten ausgerichtet ist.

8. Impulslaseranordnung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der anisotrope Laserkristall, der einen von dem Pumpstrahl durchsetzten Kristallquerschnitt mit paarweise parallel gegenüberliegenden Kristallkanten von unterschiedlicher Kantenlänge enthält, seinen größten Wärmeausbreitungskoeffizienten in Richtung der geringeren Ausdehnung des Pumpstrahlquerschnittes und parallel zur Kristallkante mit der geringeren Kantenlänge aufweist.

9. Verfahren zur Impulslängeneinstellung bei Laserimpulsen mit einem diodengepumpten, gütegeschalteten Festkörperlaser-Oszillator zur Bereitstellung von Oszillatorimpulsen, dadurch gekennzeichnet, dass die Oszillatorimpulse mit einer solchen



2

Kleinsignalverstärkung verstärkt werden, dass bei einer durch Leistungsvariation des Festkörperlaser-Oszillators hervorgerufenen Veränderung der Impulslänge eine Entkopplung von der erzielbaren Laserleistung erfolgt.

5

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Impulslänge durch eine Änderung der Pumpstrahlungsleistung über den Diodenstrom der Pumpstrahlungsquelle eingestellt wird.

10

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Laserimpulse mit einer solchen Kleinsignalverstärkung verstärkt werden, dass zusätzlich eine Impulsverbreiterung erfolgt.

15

## Zusammenfassung

Bei einer Impulslaseranordnung und einem Verfahren zur Impulslängeneinstellung bei Laserimpulsen besteht die Aufgabe, die Pulslänge über einen weiten Bereich weitgehend unabhängig von der Laserausgangsleistung zu ändern, insbesondere einer Leistungsreduzierung entgegenzuwirken und eine sich negativ auswirkende Veränderung der Strahlparameter bei der Pulsverlängerung über eine Variation der Oszillatorleistung zu vermeiden.

Einem diodengepumpten, gütegeschalteten Festkörperlaser-Oszillator mit variierbarer Oszillatorleistung zur Bereitstellung von Oszillatorimpulsen wird ein Laserverstärker nachgeschaltet, dessen Kleinsignalverstärkung ein solches Maß aufweist, dass eine Einstellung der Pulslänge über eine Leistungsvariation des Festkörperlaser-Oszillators mit einer Entkopplung von der erzielbaren Laserleistung verbunden ist.

Die Impulslaseranordnung und das Verfahren sind für industrielle oder medizinische Zwecke verwendbar, bei denen die Forderung nach Pulslängen im Bereich einiger 100 ns bis hin zu einigen  $\mu$ s bei Pulswiederholraten zwischen 10 kHz und 200 kHz besteht.

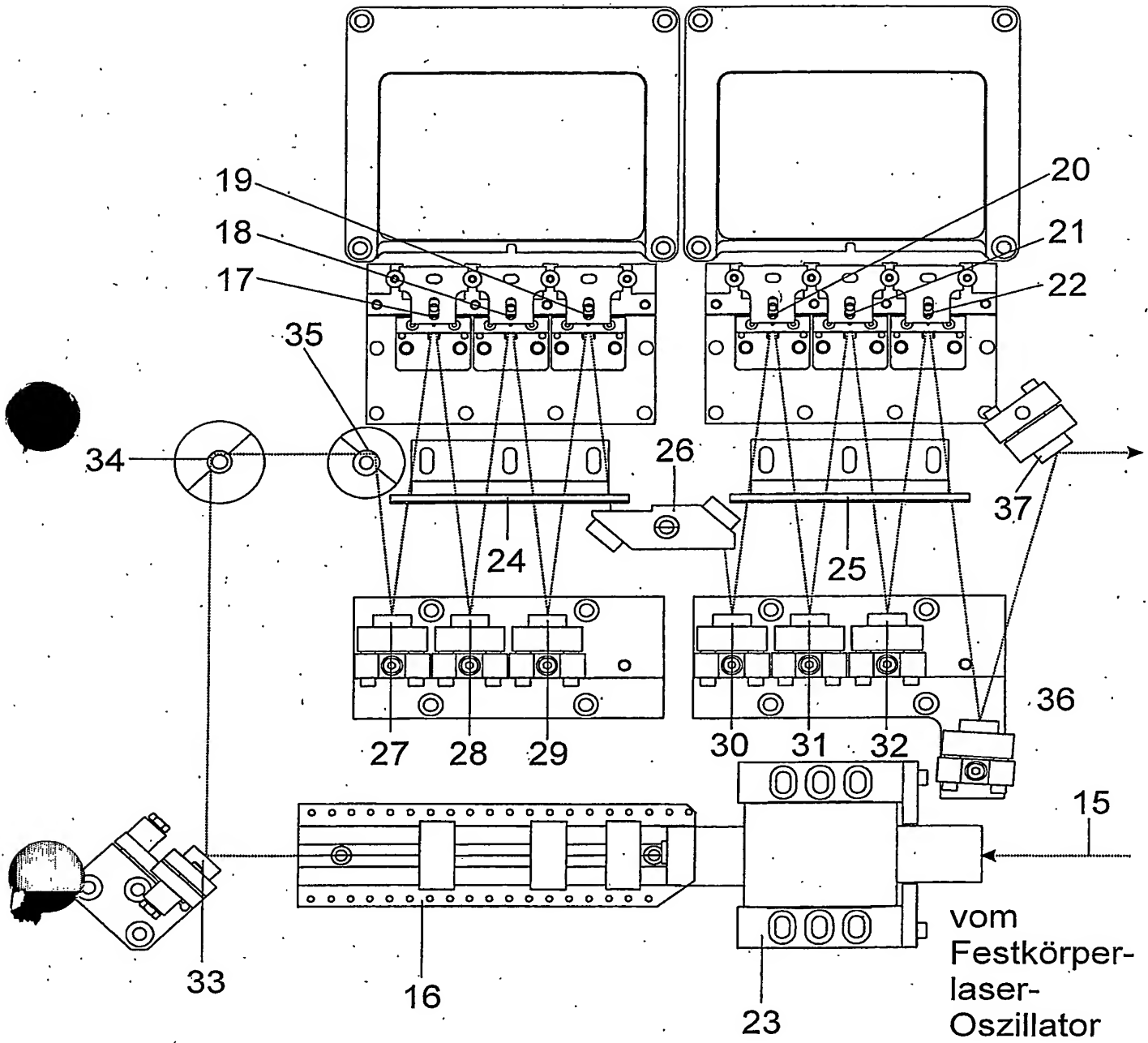


Fig. 3

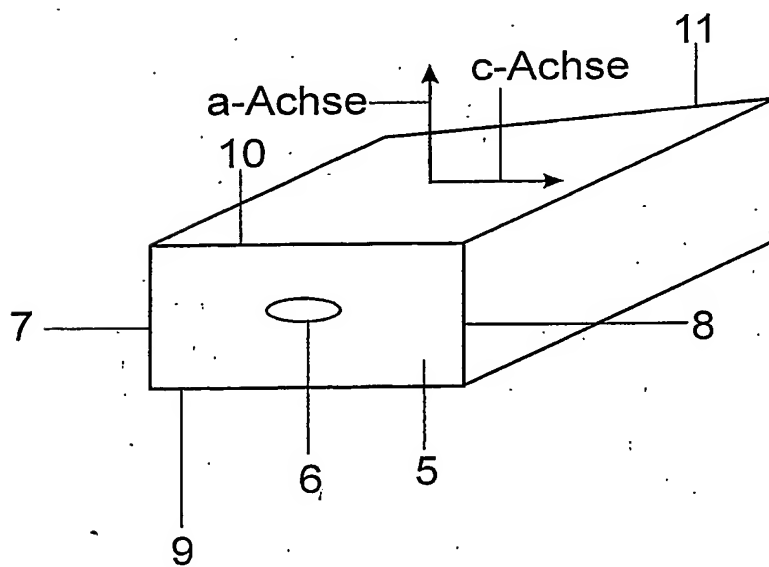
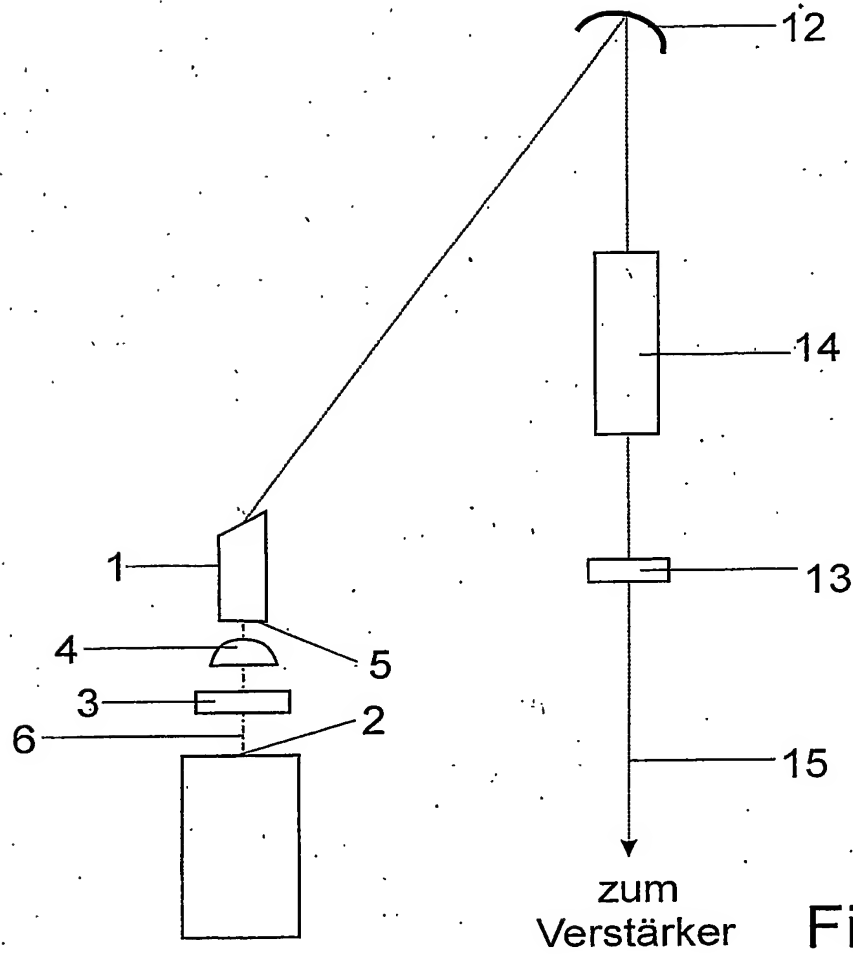


Fig. 2

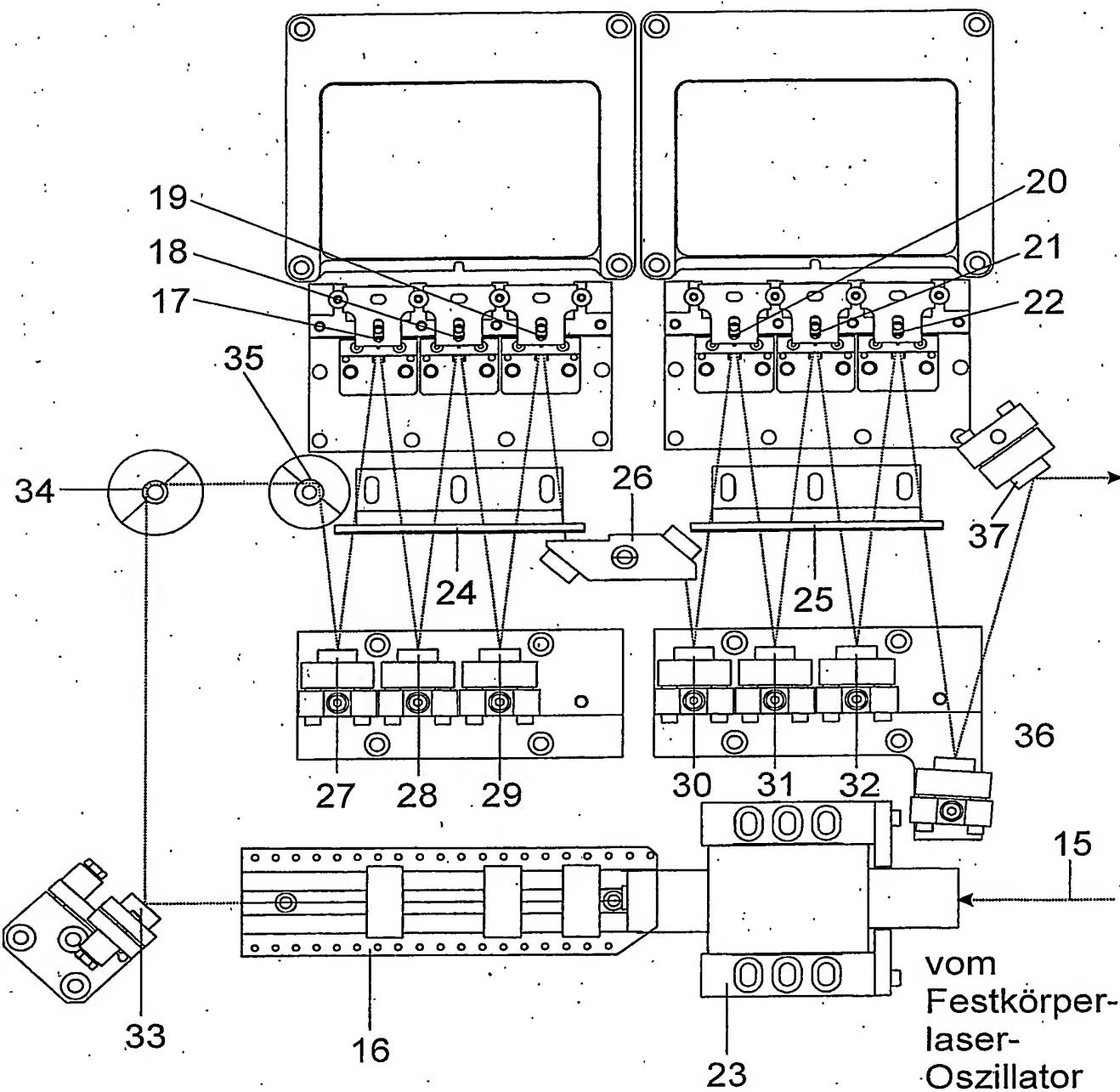


Fig. 3

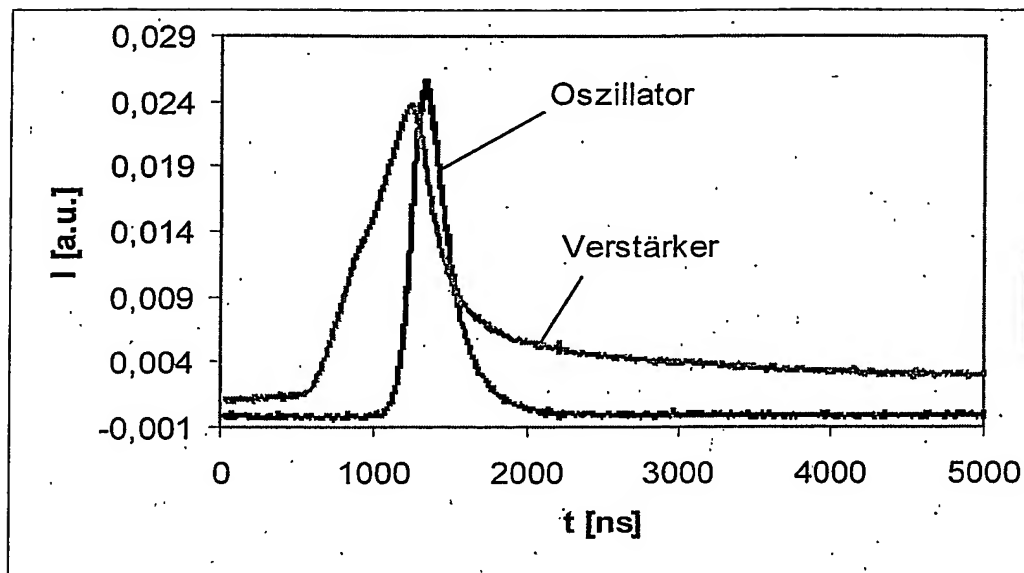


Fig. 4

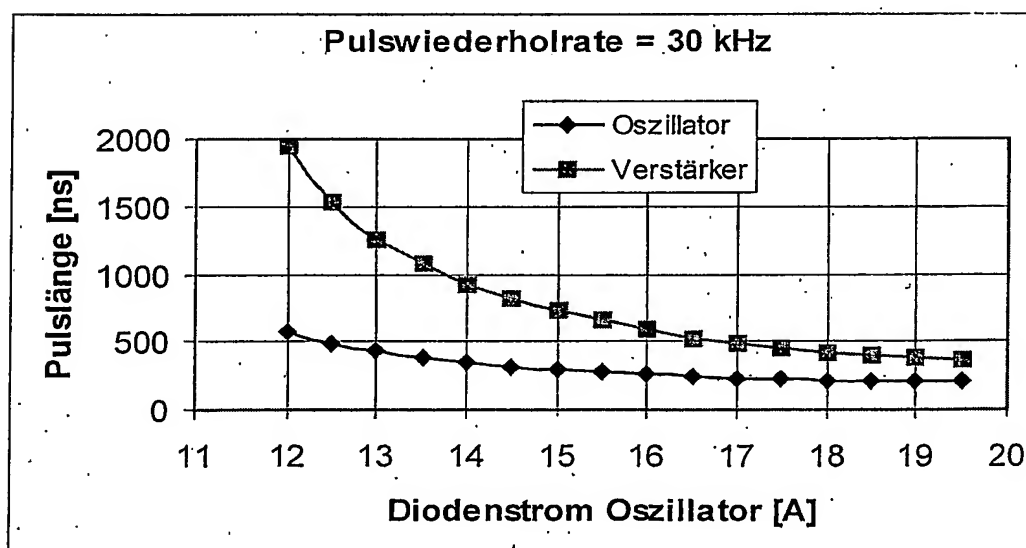


Fig. 5

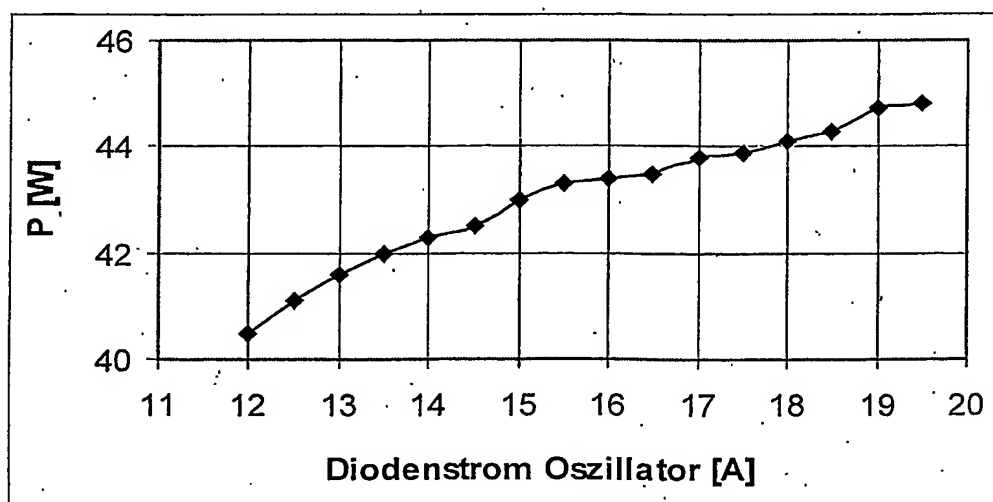


Fig. 6